

PAT-NO: JP401312319A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 01312319 A  
TITLE: BOILER COMBUSTION STATE MONITORING DEVICE  
PUBN-DATE: December 18, 1989

INVENTOR-INFORMATION:

NAME  
KIMURA, TORU  
HONDA, NAGANOBU  
MIYAGAKI, HISANORI  
KAWAKAMI, JUNZO  
MATSUMOTO, HIROSHI  
NISHIKAWA, MITSUYO  
WATANABE, YOSHIO  
SAKUMA, NAOKATSU

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HITACHI LTD	N/A
TOHOKU ELECTRIC POWER CO INC	N/A

APPL-NO: JP63143344

APPL-DATE: June 10, 1988

INT-CL (IPC): F23M011/04, **F23N005/08** , G01J001/02

US-CL-CURRENT: 431/79

ABSTRACT:

PURPOSE: To make it possible to estimate stabilized and steady unburnt substances contained in ash and monitor combustion flames with accuracy and satisfactory result by evaluating combustion volume of flames, time changes in luminance or temperature or luminance or temperature rise from a burner.

CONSTITUTION: Flames 2 during the operation of a boiler are measured by an image fiber 5 so as to obtain the image of each flame luminance through respective filters 8 and 9 by way of a spectroscope 6. This image is photographed with a photoelectric converter 10. The respective wavelength **analog signals 17 and 18 are converted into digital image data respectively with an analog/digital** converter 11 and stored in an image storage device 12. Then, an attempt is made to obtain a deviation from the average luminance of each image. The average luminance distribution is then obtained from each image. The temperature distribution is further obtained so that the rise in the temperature from a burner may be evaluated. Furthermore, the combustion volume is evaluated. Based on the evaluation, the unburnt substances in the ash can be calculated and displayed on a display device, which makes it possible to monitor the combustion state properly and accurately.

COPYRIGHT: (C)1989, JPO&Japio

## ⑫ 公開特許公報(A)

平1-312319

⑤ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

④ 公開 平成1年(1989)12月18日

F 23 M 11/04

1 0 3

8815-3K

F 23 N 5/08

G-8815-3K

G 01 J 1/02

J-7706-2G 審査請求 未請求 請求項の数 1 (全8頁)

⑭ 発明の名称 ボイラ燃焼状態監視装置

⑰ 特 願 昭63-143344

⑱ 出 願 昭63(1988)6月10日

⑲ 発 明 者 木 村 亨 茨城県日立市大みか町5丁目2番1号 株式会社日立製作所大みか工場内

⑲ 発 明 者 本 田 永 信 茨城県日立市大みか町5丁目2番1号 株式会社日立製作所大みか工場内

⑲ 発 明 者 宮 垣 久 典 茨城県日立市大みか町5丁目2番1号 株式会社日立製作所大みか工場内

⑲ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

⑲ 出 願 人 東北電力株式会社 宮城県仙台市一番町3丁目7番1号

⑲ 代 理 人 弁理士 鶴沼 辰之 外1名

最終頁に続く

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

ボイラ燃焼状態監視装置

## 2. 特許請求の範囲

1. バーナの燃焼火炎を2つの分光スペクトルに分光する分光器と、該2つの分光スペクトルを互に異なる波長の単光色にろ波するフィルタと、該単光色を電気信号に変換する光電変換装置と、該電気信号をデジタル値に変換するアナログ・デジタル変換装置と、該デジタル値を画像として記憶するデジタル画像記憶装置と、該デジタル画像記憶装置のデジタル記憶値よりボイラの燃焼状態を算出する計算機と、該燃焼状態を表示する表示装置とから構成されるボイラ燃焼状態監視装置において、前記計算機がボイラの燃焼状態として、バーナの燃焼火炎形状の各位置における輝度または温度を所定位置と前記各位置との距離で重みづけした第1特徴量と、前記燃焼火炎形状の面積を該燃焼火炎形状の各位置における輝度または温度で重みづけした第2特

徴量と、前記燃焼火炎形状の各位置における輝度または温度、該燃焼火炎形状の少なくとも1つの時間的変化を表わす第3特徴量とから灰中未燃分を算出することを特徴とするボイラ燃焼状態監視装置。

## 3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、ボイラの燃焼状態の監視装置に係り、特に灰中未燃分を推定するのに好適な監視装置に関する。

〔従来の技術〕

従来の装置は、特開昭60-228818号に記載のように、バーナ近傍の火炎形状を輝度分布として計測し、計測した火炎画像から酸化炎形状を抽出し、バーナと抽出した酸化炎との間の位置に関する情報に基づいて、灰中未燃分を推定する装置となっていた。しかし灰中未燃分に強く影響する火炎の燃焼ポリウム、輝度あるいは温度の時間的変化、および輝度あるいは温度のバーナからの立ち上がり等については配慮されていなかった。また、酸

化炎がバーナ軸を境に1個ずつ存在するような火炎以外には適用できないという問題があった。

〔発明が解決しようとする課題〕

上記従来技術は、灰中未燃分を推定する際に、バーナと抽出された酸化炎との間の位置に関する情報で、火炎の着火性、火炎高温域大きさを評価し、灰中未燃分を推定しようというものであるが、灰中未燃分に強く影響する火炎の燃焼ボリューム、輝度あるいは温度の時間的变化、および輝度あるいは温度のバーナからの立ち上がり等について配慮がされておらず、炭種、バーナ、燃焼炉、運用条件の違いに追従できる推定方法となっていない問題があった。

本発明の目的は、火炎の燃焼ボリューム、輝度あるいは温度の時間的变化および輝度あるいは温度のバーナからの立ち上がりを評価し、炭種、バーナ、燃焼炉、運用条件の違いにも追従できる、安定かつ確実な灰中未燃分推定を行い、燃焼火炎を良好かつ適確に監視することにある。

〔課題を解決するための手段〕

る。

〔作用〕

バーナの燃焼火炎を分光器により2つの分光スペクトルに分光し、フィルタを通して互に異なる波長の単色光とし、光電変換装置によつて電気信号に変え、アナログ・デジタル変換装置によりデジタル値とし、デジタル画像記憶装置に記憶し、この記憶データを用いて計算機により、バーナの燃焼火炎形状の各位置における輝度または温度を算出してこれを所定位置と前記各位置との距離で重みづけした第1特徴量と、燃焼火炎形状の面積をその各位置における輝度または温度で重みづけした第2特徴量と、燃焼火炎形状の各位置における輝度または温度、燃焼火炎形状の少なくとも1つの時間的变化を表わす第3特徴量とから推定式を用いて灰中未燃分を算出し、表示装置に表示して監視する。

〔実施例〕

以下、本発明の一実施例を第1図～第4図により説明する。第1図において、1はバーナ、2は火

上記課題は、バーナの燃焼火炎を2つの分光スペクトルに分光する分光器と、該2つの分光スペクトルを互に異なる波長の単色光に分解するフィルタと、該単色光を電気信号に変換する光電変換装置と、該電気信号をデジタル値に変換するアナログ・デジタル変換装置と、該デジタル値を画像として記憶するデジタル画像記憶装置と、該デジタル画像記憶装置のデジタル記憶値よりボイラの燃焼状態を算出する計算機と、該燃焼状態を表示する表示装置とから構成されるボイラ燃焼状態監視装置において、前記計算機がボイラの燃焼状態として、バーナの燃焼火炎形状の各位置における輝度または温度を所定位置と前記各位置との距離で重みづけした第1特徴量と、前記燃焼火炎形状の面積を該燃焼火炎形状の各位置における輝度または温度で重みづけをした第2の特徴量と、前記燃焼火炎形状の各位置における輝度または温度、該燃焼火炎形状の少なくとも1つの時間的变化を表わす第3の特徴量とから灰中未燃分を算出するボイラの燃焼状態監視装置によつて解決され

炎、3はボイラ、4は冷却装置、5はイメージファイバ、6は分光器、7はハーフミラー、8はフィルタ（波長 $\lambda_1$ 透過）、9はフィルタ（波長 $\lambda_2$ 透過）、10は光電変換装置、11はアナログ／デジタル変換装置、12はデジタル画像記憶装置、13は計算機、14は表示装置、15はアナログ／デジタル変換タイミング信号、16は各バーナ燃料供給量、空気供給量（2次、3次空気配分等含む）、空気供給方法（2次、3次レジスタ、ペーン開度等）信号制御、17は波長 $\lambda_1$ アナログ信号、18は波長 $\lambda_2$ アナログ信号である。

以下、実施例を第2図処理フローに従つて説明する。

#### 1) 100: 画像入力

ボイラ運転中の火炎2を、第1図に示すように、イメージファイバ5を用いて計測し、分光器6を介して各フィルタ（波長 $\lambda_1$ 透過）8、フィルタ（波長 $\lambda_2$ 透過）9を通す。例えば、 $\lambda_1 = 600 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 700 \text{ nm}$ とすると、波長600 nm、700 nmの各火炎輝度画像が得られる。

その画像を光電変換装置10で撮像し、その各波長アナログ信号17, 18をアナログ/デジタル変換装置11で各々デジタル画像データに変換し、デジタル画像記憶装置12に記憶する。なお、デジタル画像記憶装置11に入力するための映像信号を、アナログ/デジタル変換するタイミング信号は、アナログ/デジタル変換実行のタイミング信号15を用いる。本実施例では、アナログ/デジタル変換実行のタイミング信号15を計算機13から与えるようになっているが、マニュアル操作で与えても効果は変わらない。以上、処理を設定した周期で、設定した数n回だけ繰り返す。なお、輝度画像だけで以下処理をする場合は、分光器6を介さずフィルタだけを通し、任意の1つの波長輝度画像だけで処理してもよい。以下、処理は計算機13で行う。

2) 110: 各画像の平均輝度構ら偏差を求める。

2つの波長に対してn枚のデジタル画像を得て、どちらか任意の波長の各サンプリングした火炎輝度画像を、各火炎輝度画像に対してある輝度レベ

てから標準偏差を求めても、効果は変わらない。また、標準偏差を求める際、任意の領域の火炎情報を用いて処理を実施してもよい。

3) 120: 各画像より平均輝度分布を求める。

各波長毎に各サンプリングした火炎画像の輝度分布を用いて、(2)式に示すように、波長毎の平均輝度分布を求める。

$$\begin{aligned} \overline{R_{700}}(i, j) &= \frac{\sum_{k=1}^n \gamma_{700k}(i, j)}{n} \\ \overline{R_{600}}(i, j) &= \frac{\sum_{k=1}^n \gamma_{600k}(i, j)}{n} \end{aligned} \quad \dots (2)$$

ただし、 $\overline{R_{700}}(i, j)$ : 波長700nmの画像の(i, j)座標の平均輝度、

$\overline{R_{600}}(i, j)$ : 波長600nmの画像の(i, j)座標の平均輝度、

$\gamma_{700k}(i, j)$ : 波長700nmのk

ル以下を零とする処理により火炎のみを抽出する。その処理後の各サンプリングした火炎輝度画像の平均輝度より、その波長の平均輝度を求め、(1)式に示すように、各サンプリングした火炎画像の平均輝度より標準偏差を求める。

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i^2 - n \overline{R}^2}{n}} \quad \dots (1)$$

ただし、 $\sigma_n$ : 標準偏差

n: 設定したサンプリング回数

$\gamma_i$ : 各サンプリングした画像の平均輝度

$\overline{R}$ :  $\gamma_i$  から求めた、設定した波長の平均輝度

以上求めた標準偏差が火炎の輝度の時間的変化

を表わし、その逆数を火炎の安定度 $\times \left( = \frac{1}{\sigma_n} \right)$

とする。なお、2つの波長のうちどちらで標準偏差を求めても効果は変わらない。また、各波長のサンプリングした火炎輝度画像から、温度を求め

番目にサンプリングした画像の(i, j)座標の輝度

$\gamma_{700k}(i, j)$ : 波長600nmのk番目にサンプリングした画像の(i, j)座標の輝度

4) 130: 温度分布を求める。

以上述べた各波長の平均輝度分布を用いて温度分布を計算する。以下に、火炎デジタル画像の各座標点の温度を算出する方法について示す。

Wienの式を用いて、波長 $\lambda_1, \lambda_2$ の各座標点の輝度と温度の関係は、(3), (4)式で示される。

$$R_1(i, j) = \epsilon_1 \frac{C_1}{\lambda_1^5} e^{\times p} \left( -\frac{C_2}{\lambda_1 T(i, j)} \right) \quad \dots (3)$$

$$R_2(i, j) = \epsilon_2 \frac{C_1}{\lambda_2^5} e^{\times p} \left( -\frac{C_2}{\lambda_2 T(i, j)} \right) \quad \dots (4)$$

ただし、 $R_1(i, j)$ : (i, j)座標の波長700nmの輝度

$R_z(i, j)$  :  $(i, j)$  座標の波長

600 nm の輝度

$\epsilon_1$  : 波長 700 nm の実効放射率

$\epsilon_2$  : 波長 600 nm の実効放射率

$\lambda_1$  : 波長 700 nm

$\lambda_2$  : 波長 600 nm

$T(i, j)$  :  $(i, j)$  座標の絶対

温度 ( $^{\circ}\text{K}$ )

$C_1$  : 第1放射定数 ( $37403 \times 10^5$

$\text{erg} \cdot \text{cm}^2 / \text{s}$ )

$C_2$  : 第2の放射定数 ( $14381 \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{K}$ )

(3), (4) 式の  $(i, j)$  座標の波長 700 nm, 600 nm の輝度比をとり、 $(i, j)$  座標の温度  $T$  で解くと、(5) 式となる。

$$\frac{1}{T(i, j)} = K_1 \left( \frac{R_1(i, j)}{R_2(i, j)} + K_2 \right) \quad \dots (5)$$

$$\text{ただし、} K_1 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{C_2(\lambda_1 - \lambda_2)}, K_2 = \ln \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right),$$

$\epsilon_1 \sim \epsilon_2$

座標全点について、(5) 式に示す計算を計算

$$\frac{1}{T(i, j)} = \frac{\lambda}{C_2} \left\{ \ln C_1 - (\ln R(i, j) + \ln \lambda^5) \right\} \quad \dots (6)$$

ただし、 $T(i, j)$  :  $(i, j)$  座標の絶対温度

$R(i, j)$  :  $(i, j)$  座標の輝度

以上、(6) 式を実現するためには、第1図の分光器は必要なく、フィルタを通した任意の1つの波長の輝度画像があればよい。

5) 140 : パーナからの温度立ち上がり評価

第3図を用いて以下説明する。第3図(a)に示すように、火炎を考え、(7)式を用いて、バーナ軸各点の平均温度を求める。

$$\overline{T_{x_1}} = \frac{\sum T_{x_1}}{M} \quad \dots (7)$$

ただし、 $\overline{T_{x_1}}$  : パーナ軸  $x_1$  区の平均温度

$M$  : パーナ軸  $x_1$  区の座標点数

$T_{x_1}$  : パーナ軸  $x_1$  区の各点の温度

$\sum T_{x_1}$  : パーナ軸上  $x_1$  書の各座標点温度の和

$a$  : パーナ出口位置

機で行うことにより、各座標点の温度を求めることができる。以上、火炎から計測した2つの波長の輝度分布を用いた2色高温計法を応用した火炎温度分布を求める手法について説明したが、火炎からの1つの波長の輝度分布からも温度分布を求めることができる。以下、その手法を示す。

火炎の波長・輝度(放射強度)・温度の関係は、(4)式に示すプランクの式で表わすことができる。

$$\frac{1}{T} = \frac{\lambda}{C_2} \left\{ \ln C_1 - (\ln R + \ln \lambda^5) \right\} \quad \dots (6)$$

ただし、 $\lambda$  : 波長 ( $\mu\text{m}$ )

$T$  : 絶対温度 ( $^{\circ}\text{K}$ )

$R$  : 波長  $\lambda$  の輝度

$C_1$  : 第1放射定数 ( $37403 \times 10^5$   $\text{erg} \cdot \text{cm}^2 / \text{s}$ )

$C_2$  : 第2放射定数 ( $14387 \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{K}$ )

(6)式を応用し、(7)式で火炎輝度画像全点に実施すれば、火炎温度分布が求まる。

$b$  : バーナの大きさ等で決定する位置

以上、バーナ軸上の各区の平均温度を求めた。この各平均温度を、横軸にバーナ軸距離、縦軸に平均温度をとってプロットすると、第3図(b)のようになり、バーナからの火炎の温度立ち上がり曲線が求まる。以下、この火炎の温度立ち上りの定量的評価方法を示す。

微粉炭粒子の燃焼過程は、まず燃焼の初期に揮発分の分解燃焼が行われ、その後コークス状の残留炭素質(チャー)の表面燃焼が進行する。チャーの表面燃焼は、揮発分の分解燃焼に比べて遅いので、微粉炭が完全に燃え切るのに要する時間の大部分は、チャーの表面燃焼に関するものと考えられる。

この揮発分の分解燃焼は、時間的に瞬時のものであるが、微粉炭粒子はこの間にのちのチャーの燃焼速度を支配する膨張現象を伴い、灰中未燃分に大きな影響を与える。このように、灰中未燃分低減のためには、微粉炭粒子の揮発分抽出による

膨張現象を促進させる必要がある。そのためには、揮発分が十分微粉炭粒子から噴出して燃焼する前に、溶融灰に閉じ込められるのを防ぐため、着火してから急激な温度上昇が必要である。このことから、バーナ出口から火炎温度が急激に上昇している方が灰中未燃分も低減されると考え、バーナからの火炎温度の立ち上がりもバーナからの距離で重みづけをして、(8)式に示す評価方法をとった。

$$G = \sum_{i=a}^b \left( \frac{T_{x_i}}{x_i} \right) \quad \dots (8)$$

ただし、G : 火炎温度立ち上がり特性

$T_{x_i}$  : バーナ軸  $x_i$  区の間平均温度

$x_i$  : バーナ軸上  $x_i$  区の間位置

$x_a$  : バーナ出口位置

$x_b$  : バーナの大きさ等で決定する位置

なお、輝度を用いて、以上の評価を行うことも可能である。

#### 6) 150 : 燃焼ポリウム評価

火炎安定度  $X$  は、バーナ近傍での燃焼状態の安定性を示し、 $X$  が大きいほど燃焼が安定しており、火炎の着火が安定していることを示す。

バーナからの温度の立ち上がり  $G$  は、先に示した通り、バーナからの温度の立ち上がり  $G$  が大きいということは、灰中未燃分に大きく影響する揮発分の抽出による微粉炭粒子の膨張現象が促進されていることを示す。

燃焼ポリウム  $V$  は、バーナ近傍の火炎の燃焼温度および火炎の広がりを評価するものであり、燃焼ポリウム  $V$  が大きいということは、燃焼温度が高い、あるいは燃焼の広がりが大きい、あるいは燃焼温度が高く燃焼の広がりが大きいことを意味し、微粉炭粒子の燃焼が促進されていることを示す。

以上により、火炎の燃焼性は、(1)式に示す関数となる。

$$F = f(X, G, V) \quad \dots (11)$$

また、(11)式を具体化すると、例えば(12)式のようになる。

第4図を用いて以下説明する。第4図(a)に示すように、火炎を考える。例えば、バーナ軸上  $x_i$  区21の各点の温度の和は、第4図(b)のバーナ軸上  $x_i$  区温度面積28として表わされる。このように、バーナ座標軸上の各区の温度面積の和を燃焼ポリウムと考える。実際には、(9)式で示す計算をすることになる。

$$V = \sum_{i=a}^b S(x_i) \cdot \Delta x \quad \dots (9)$$

ただし、 $V$  : 燃焼ポリウム

$S(x_i)$  :  $x_i$  区の間温度面積

$a$  : バーナ出口位置

$b$  : バーナの大きさで決定する位置

$\Delta x$  :  $x_{i-1}$  と  $x_i$  の区間の大きさ

なお、輝度を用いて、以上の評価を行うことも可能である。

#### 7) 160 : 灰中未燃分推定

以上で求めた火炎安定度  $X$ 、バーナからの温度の立ち上がり  $G$ 、燃焼ポリウム  $V$  からの灰中未燃分を推定する。

$$F = a X^{\alpha} \cdot b G^{\gamma} \cdot c V^{\beta} \quad \dots (12)$$

ただし、 $F$  : 燃焼性

$X$  : 燃焼安定性

$G$  : バーナからの温度の立ち上がり

$V$  : 燃焼ポリウム

$a, b, c, \alpha, \gamma, \beta$

: 微粉粒度・燃料投入量・バーナ種類・原炭性状・空気投入量(2次、3次空気配分含む)・空気投入方法(2次、3次レジスタ・ベーン開度)等で決定する定数

(12)式で示した燃焼性より灰中未燃分を推定すると、(13)式のようになる。なお、燃焼安定性  $X$ 、バーナからの温度の立ち上がり  $G$ 、燃焼ポリウム  $V$  の特徴量を評価する際に、各々燃焼火炎の異なつた任意の領域を用いて実施してもよい。

$$UBC = K \cdot F \quad \dots (13)$$

ただし、 $UBC$  : 灰中未燃分

F : 燃焼性  
K : 燃焼投入量・原炭性状・バーナ種類・炉内状況で決定する定数

8) 170: バーナの燃料供給量, 空気供給量および空気供給方法制御

以上で示した灰中未燃分推定方法により得たバーナの灰中未燃分値が、炭種、負荷、 $\text{NO}_x$ 規制値等の運用条件下で、まだ下がると判断されれば、燃料供給量、空気供給量(2次、3次空気配分含む)、空気供給方法の少なくとも1つを制御することにより、火炎の安定性、温度の立ち上がり、燃焼ポリウムを改善し、炭種、負荷、 $\text{NO}_x$ 規制値等の運用条件下でのミニマム灰中未燃分となるように、高効率燃焼運転を行う。また、表示装置に灰中未燃分値あるいは安定性 $X$ 、バーナからの温度の立ち上がり $G$ 、燃焼ポリウム $V$ 等を表示すれば効果的であるし、監視装置としても有効である。また、実際のボイラは複数のバーナを有しているので、そのボイラの運用により計測する

量と、燃焼火炎形状の各位置における輝度または温度、燃焼火炎形状の少なくとも1つの時間的变化を表わす第3特徴量とから推定式を用いて灰中未燃分を算出し表示装置に表示できるので、燃焼状態を適確に監視できる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例の装置構成、第2図は計算機の概略処理フロー図、第3図(a)はバーナからの温度立ち上がり説明図、第3図(b)はバーナからの温度立ち上がり曲線図、第4図(a)は燃焼ポリウム説明図、第4図(b)はバーナ軸上各区の温度面積説明図である。

1…バーナ、2…火炎、6…分光器、7…ハーフミラー、8…フィルタ(波長 $\lambda_1$ 透過)、9…フィルタ(波長 $\lambda_2$ 透過)、10…光電変換装置、11…アナログ/デジタル変換装置、12…デジタル画像記憶装置、13…計算機、14…表示装置。

代理人 井理士 鶴沼辰之

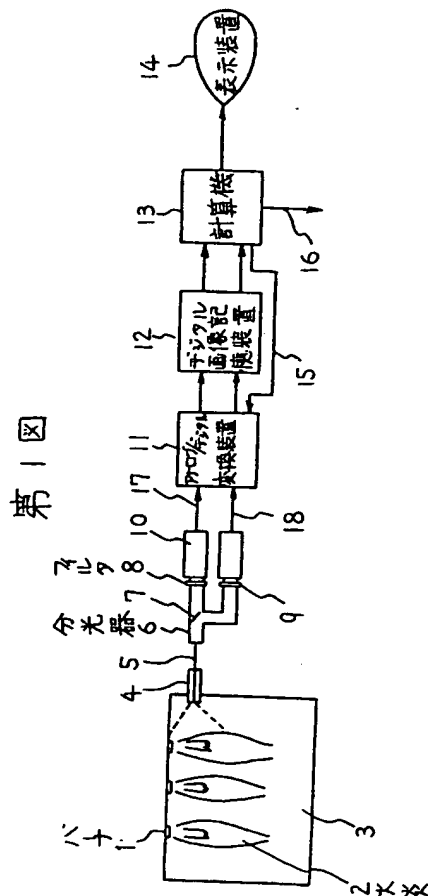
バーナを選択する。例えば、各段ごとにあるいは各ミルごとに1個計測する方法などがある。

本実施例により、次の効果を得ることができる。

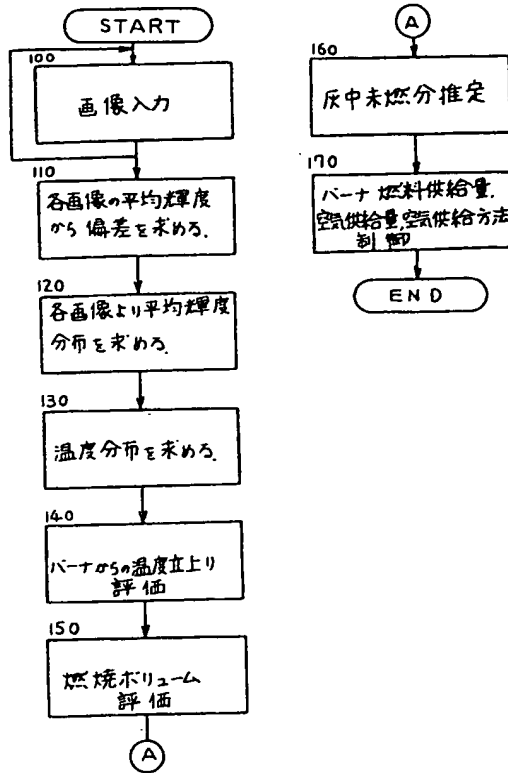
- (1) 灰中未燃分推定することが可能となり、高効率燃焼運転の指針が開ける。
- (2) バーナ段ごとに計測することにより、各段の燃焼状態が把握できる。
- (3) 高燃料比炭・水スラリ等、様々な燃焼状態を把握するのに有効である。
- (4) バーナ構造・空気供給方法に関係なく燃焼状態を把握できる。
- (5) 様々なボイラの運用にも追従した燃焼状態を把握できる。
- (6) 運転員の負担を軽減できる。

#### 〔発明の効果〕

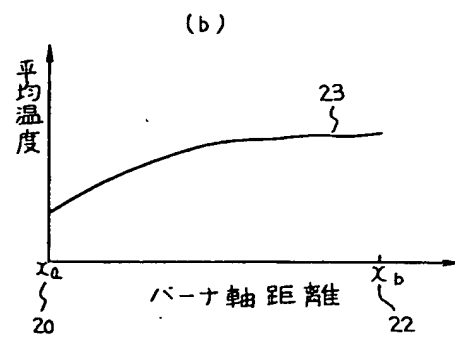
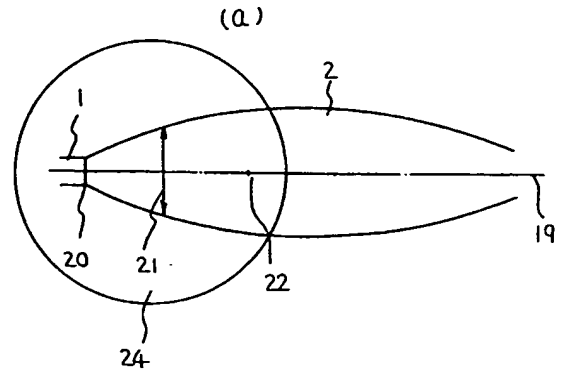
本発明によればバーナの燃焼火炎より火炎形状の各位置における輝度または温度を算出してこれを所定位置と前記各位置との距離で重みづけした第1特徴量と、燃焼火炎形状の面積をその各位置における輝度または温度で重みづけした第2特徴



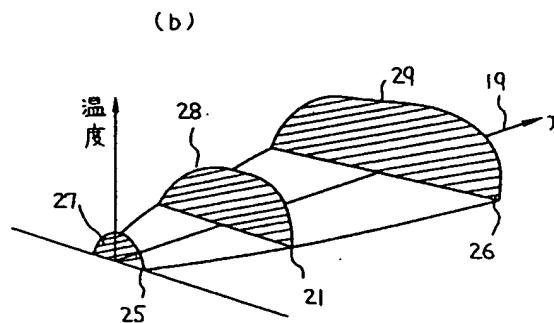
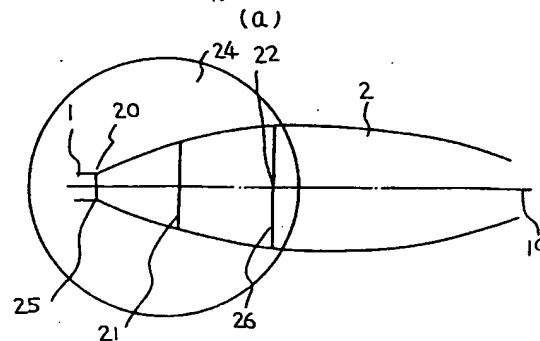
第2図



第3図



第4図



第1頁の続き

⑫発明者	川上	潤三	茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内
⑫発明者	松本	弘	茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内
⑫発明者	西川	光世	茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内
⑫発明者	渡辺	好夫	宮城県仙台市柏木1丁目7-33
⑫発明者	佐久間	直勝	宮城県仙台市吉成3-1-17